

Д. И. Вершков Ю. М. Голдобин

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

d.vershkov@rambler.ru

ДИНАМИКА ПЕРЕДАЧИ ТЕПЛА К ПОВЕРХНОСТЯМ НАГРЕВА В ТОПКЕ ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА

В работе рассмотрена динамика передачи тепла излучением от факела к низкотемпературным поверхностям нагрева. В линейном приближении получены уравнения в отклонениях от начального установившегося режима для расчетов лучистого теплообмена и температуры газов на выходе из топки в зависимости от тепловыделения в топке и изменения расхода топочных газов, получаем передаточные функции по этим каналам.

Ключевые слова: тепловыделение; лучистый теплообмен; расход газов; температура газов; уравнение динамики; передаточная функция.

D. I. Vershkov Y. M. Goldobin

Ural Federal University, Ekaterinburg

HEAT TRANSFER DYNAMICS TO HEATING SURFACES IN FURNANCE OF THE WATER-BOILER

The dynamics of heat transfer by radiation from a burner to low-temperature heating surfaces are reviewed in this case. In the linear approximation we have the deviation from the initial steady state for calculating the radiative heat exchange and the gas temperature at the furnace outlet. Depending on the heat generation in the furnace and the change in the consumption of flue gases transfer functions are received.

Keywords: heat release radiant heat transfer; gas consumption; gas temperature; dynamic equation; transmission function.

Тепловыделение в топке котла Q_m , полученное при сжигании топлива с воздухом, можно разбить на две части: Q_m' – которое отдается в топке и Q_m'' – которое отдается в газоходах котла.

В итоге часть тепла Q_m' отдается излучением поверхности нагрева (Q_l), а часть идет на нагрев газов (Q_z).

В установившемся режиме существует баланс тепла $Q_m' = Q_l + Q_z$

В неуставившемся режиме «небаланс тепла» аккумулируется в дымовых газах, тогда баланс тепла в динамике будет

$$m_z c_{pz} \frac{d(v_z'' - v_z')}{dt} = Q_m - (Q_l + Q_z), \quad (1)$$

где m_z – масса газов в топке; c_{pz} – средняя теплоемкость газов; v_z' и v_z'' – температура газов на входе и выходе из топки.

Уравнение лучистого теплообмена в целях упрощения задачи запишем относительно температуры газов на выходе из топки

$$Q_l = K_m (T_z^4 - T_{нов}^4), \quad (2)$$

где $T_z = (v_z'' + 273)$ – абсолютная температура газов на выходе из топки; $T_{нов}$ – абсолютная температура поверхности нагрева;

$$K_m = 5,67 \cdot 10^{-8} a_m H_l,$$

где a_m – степень черноты топки; H_l – лучистая поверхность нагрева.

Уравнение теплового баланса газов в топке

$$Q_z = G_z c_{pz} (v_z'' - v_z') \quad (3)$$

где G_z – расход газов на входе в топку.

Запишем уравнения (1), (2) и (3) в отношениях от начального установившегося режима, как это принято в автоматике

$$m_z c_{pz} \frac{d(v_z'')}{dt} = \Delta Q_m' - (\Delta Q_l + \Delta Q_z), \quad (4)$$

$$\Delta Q_l = 4 K_m T_{z,o}^3 \Delta v_z'' \quad (5)$$

$$\Delta Q_{\varepsilon} = c_{p\varepsilon} (v_{\varepsilon,o}'' - v_{\varepsilon,o}') \Delta G_{\varepsilon} + c_{p\varepsilon} \cdot G_{\varepsilon,o} \cdot \Delta v_{\varepsilon}'' \quad (6)$$

Определив $\Delta v_{\varepsilon}''$ из (5) и подставив его в уравнения (6) и (4), получим уравнение динамики изменения лучистого теплообмена в отклонениях в зависимости от изменения тепловыделения в точке $\Delta Q_m'$ и расхода дымовых газов ΔG_{ε}

$$\frac{m_{\varepsilon} c_{p\varepsilon}}{4K_m T_{\varepsilon,o}^3 + c_{p\varepsilon} G_{\varepsilon,o}} \cdot \frac{d(\Delta Q_{\varepsilon})}{dt} + \Delta Q_{\varepsilon} = \frac{4K_m T_{\varepsilon,o}^3}{4K_m T_{\varepsilon,o}^3 + c_{p\varepsilon} G_{\varepsilon,o}} (\Delta Q_m' - c_{p\varepsilon} (v_{\varepsilon,o}'' - v_{\varepsilon,o}') \Delta G_{\varepsilon}) \quad (7)$$

При постоянном расходе дымовых газов ($\Delta G_{\varepsilon} = 0$) получаем динамику влияния тепловыделения в точке ΔQ_{ε} . Уравнение можно записать в компактной форме, принятой в автоматике

$$T_{об} \frac{d(\Delta Q_{\varepsilon})}{dt} + \Delta Q_{\varepsilon} = k_1 \cdot \Delta Q_m'', \quad (8)$$

где $k_1 = (1 + \frac{c_{p\varepsilon} G_{\varepsilon,o}}{4K_m T_{\varepsilon,o}^3})^{-1}$ – коэффициент передачи; $T_{об} = \frac{m_{\varepsilon} c_{p\varepsilon}}{4K_m T_{\varepsilon,o}^3 + c_{p\varepsilon} G_{\varepsilon,o}}$ – постоянная времени объекта(топки).

При постоянном тепловыделении в топке ($\Delta Q_m' = 0$) из (7) получаем уравнение динамики влияния расхода газов на лучистый теплообмен в виде (8), но с другой стороны коэффициентом передачи k_2

$$k_2 = - \frac{4K_m T_{\varepsilon,o}^3 c_{p\varepsilon} (v_{\varepsilon,o}'' - v_{\varepsilon,o}')}{4K_m T_{\varepsilon,o}^3 + c_{p\varepsilon} G_{\varepsilon,o}}$$

Таким образом, в динамическом отношении каналы влияния тепловыделения и расхода газов на лучистый теплообмен к поверхностям нагрева в топке представляют из себя инерционные звенья первого порядка, имеющие одну постоянную времени, но разные коэффициенты передачи. Из выражений для расчета k и $T_{об}$ следует, что увеличение объема топки (m_{ε}) и режима работы ($G_{\varepsilon,o}$) влияют как на инерционность процесса передачи тепла ($T_{об}$), так и на коэффициент передачи тепла.

Из уравнения (8) могут быть получены передаточные функции топки по каналам «тепловыделение – лучистое тепло» и «расход топочных газов – лучистое тепло», после записи его в операторном виде:

$$\begin{aligned} W(S) &= \frac{\Delta Q_{\text{л}}}{\Delta Q_m'} = \frac{k_1}{T_{об}S + 1} \\ W(S) &= \frac{\Delta Q_{\text{л}}}{\Delta G_{\text{г}}'} = \frac{k_2}{T_{об}S + 1}, \end{aligned} \quad (9)$$

где S – оператор Лапласа.

Из уравнений (4), (5) и (6) можно получить динамику влияния тепловыделения в топке $\Delta Q_m'$ и расхода газов $\Delta G_{\text{г}}'$ на температуру газов на выходе из точки $\Delta v_{\text{г}}''$

$$T_{об} \frac{d(\Delta v_{\text{г}}'')}{dt} + \Delta v_{\text{г}}'' = k_1 \Delta Q_m' - k_2 \Delta G_{\text{г}}', \quad (10)$$

где $T_{об}$ – постоянная времени, та же, что была получена ранее.

$$k_1 = \frac{1}{4K_m T_{\text{г},0}^3 + c_{\text{г}} G_{\text{г},0}}; k_2 = \frac{c_{\text{г}} (v_{\text{г},0}'' - v_{\text{г}}')}{4K_m T_{\text{г},0}^3 + c_{\text{г}} G_{\text{г},0}}$$

Из (10) могут быть получены передаточные функции по каналам «тепловыделение – температура топочных газов» и «расход топочных газов – температура топочных газов».

Все параметры, входящие в $T_{об}; k_1; k_2$, могут быть получены из расчета топки в номинальном, установившемся режиме для конкретного котла по нормативному методу.